

УДК 536.24 : 621.18

Т.Г. Лещенко

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков*

## ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ГАЗОВОГО ПОТОКА И ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ТЕПЛОВУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ НАГРЕВА С ПОПЕРЕЧНО-ЛЕПЕСТКОВЫМ ОРЕБРЕНИЕМ

*Представлены результаты численного исследования влияния скорости потока продуктов сгорания и загрязняющих отложений на тепловую эффективность трубчатой поверхности нагрева с поперечно-лепестковым оребрением.*

*теплообмен, поверхность нагрева, поперечно-лепестковое оребрение*

### Введение

**Постановка проблемы.** Следствием кризиса 90-х годов применительно к отечественной энергетике является то, что текущие потребности в электрической и тепловой энергии обеспечиваются за счет эксплуатации оборудования, спроектированного и установленного еще в 60 – 80-е годы и на сегодняшний день в основном выработавшего расчетный ресурс. С другой стороны, существенно сократился объем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области энергомашиностроения.

Очевидно, что решение проблемы такого масштаба возможно лишь в рамках государственной целевой программы развития энергогенерирующих мощностей на длительную перспективу. При этом следует учитывать, что в Украине отсутствует производство некоторых видов энергооборудования, в частности котельного, в том числе теплообменного.

Эта проблема может быть решена на имеющейся производственной и научной базе при наличии необходимых инвестиций в разработку и освоение выпуска соответствующей конкурентоспособной продукции, подготовку кадров.

Частной задачей затронутой проблемы является налаживание производства высокоэффективных теплообменных устройств водогрейных и паровых котлов на основе поперечно-оребрённых поверхностей нагрева.

**Анализ литературы.** Как отмечалось в [1, 2], наиболее перспективной для конвективных котлов с температурой продуктов сгорания порядка 1000 К является трубчатая поверхность нагрева с поперечно-лепестковым оребрением (рис. 1).

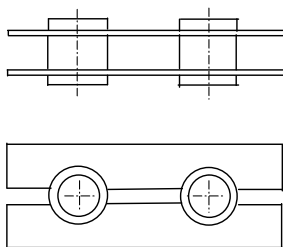


Рис. 1. Схема поверхности нагрева

В [3] изложены методика расчета теплового состояния такой поверхности нагрева и результаты численного исследова-

ния влияния геометрических характеристик оребрения на тепловую эффективность поверхности нагрева, использование которой предполагалось в водогрейных котлах типа КВ-ГМ-100-150С.

**Цель работы** – исследование влияния на тепловую эффективность поверхности нагрева с поперечно-лепестковым оребрением скорости потока продуктов сгорания и загрязняющих отложений на теплообменных поверхностях несущих труб и ребер.

### Основной материал

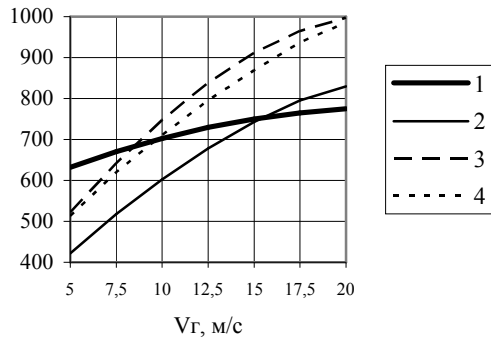
Исследования выполнялись по методике, изложенной в [3], применительно к рассмотренной в этой работе трубчатой поверхности нагрева с поперечно-лепестковым оребрением, имевшей следующие геометрические характеристики, мм: наружный диаметр труб – 38, внутренний диаметр – 30, расстояние между трубами – 100, расстояние от входной кромки до первой трубы – 37, длина, ширина и толщина лепестка – 174, 24 и 2, расстояние между лепестками – 8, шаг оребрения – 20. Материал труб и ребер – сталь 20. Греющая среда – дымовые газы с начальной температурой 993 К и скоростью 5,3 м/с. Тепловоспринимающая среда – поток воды температурой 403 К и скоростью 0,8 м/с. Режимы теплообмена с греющей и тепловоспринимающей средами те же, что и в [3].

Результаты исследования представлены на рис. 2 в форме графических зависимостей от изменения аргументов (скорости потока  $V_r$ , термического сопротивления слоя загрязнения  $\epsilon$ ) основных тепло-технических характеристик поверхности, а именно: максимальной температуры оребрения  $T, K$ ; теплового потока, приходящегося на единицу массы конструкции,  $Q_m, Вт/кг$ ; теплового потока, приходящегося на единицу объема конструкции,  $Q_{об}, кВт/м^3$ ; теплового потока, воспринимаемого единичной (с высотой, равной шагу оребрения) поверхностью нагрева  $Q, Вт$ .

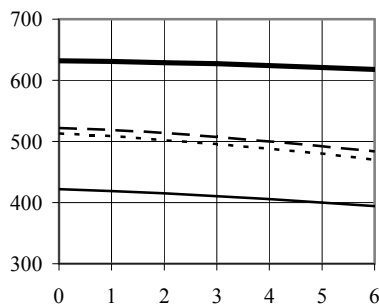
Из рис. 2, а видно, что четырехкратное повышение скорости потока продуктов сгорания (от 5 м/с

до 20 м/с) позволяет удвоить величину воспринимаемого поверхностью нагрева теплового потока, вдвое возрастают и характеристики тепловой эффективности конструкции.

Хотя при этом максимальная температура ребра-лепестка увеличивается на 140 К, по абсолютной величине она не превосходит предельно допустимой.



а



б

Рис. 2. Зависимости от скорости потока (а) и загрязняющих отложений (б):  
1 – максимальная температура лепестка, К;  
2 –  $Q_m$ , Вт/кг; 3 –  $Q_{об}$ , кВт/м³; 4 –  $Q \cdot 10$ , Вт

Согласно расчету, числа Рейнольдса у поверхности трубчатого элемента и ребра-лепестка при  $V_g = 20$  м/с почти в 3,5 раза выше, чем при  $V_g = 5$  м/с. Это ведет к возрастанию гидравлического сопротивления тракта. Однако в целом они лежат в пределах рекомендуемых значений.

Необходимо отметить, что значения  $Q_m$ ,  $Q_{об}$ ,  $Q$  возрастают во всем рассматриваемом интервале изменения скорости потока. Но при  $V_g > 15$  м/с их графики начинают приобретать асимптотический характер.

Таким образом, увеличение скорости потока до 10...15 м/с представляется целесообразным.

Влияние загрязняющих отложений продуктов сгорания на теплообменных поверхностях труб и ребер на тепловую эффективность поверхности нагрева учитывалось введением в расчетную модель дополнительного слоя постоянной толщины на наружных поверхностях трубы и ребра с известным удельным термическим сопротивлением  $\epsilon$ . Величина этого сопротивления приводится в справочной лите-

ратуре и зависит от типа топлива. Так, согласно [4] при использовании в качестве топлива газа  $\epsilon = 0$ , при использовании мазута  $\epsilon = 1,7 \cdot 10^{-3}$  м²·К/Вт. В случае применения угольного пылевидного топлива  $\epsilon = 3,5 \cdot 10^{-3}$  м²·К/Вт, а при сжигании сланцевого топлива  $\epsilon = 6 \cdot 10^{-3}$  м²·К/Вт.

Исходя из этого, интервал изменения  $\epsilon$  был определен как  $0 \leq \epsilon \leq 6 \cdot 10^{-3}$  м²·К/Вт. Зависимости основных теплотехнических характеристик исследуемой поверхности нагрева от  $\epsilon$  изображены на рис. 2, б.

Как видно из рисунка, все они убывают с увеличением  $\epsilon$  в среднем на 7% относительно своих значений при  $\epsilon = 0$ .

Следует отметить, что общее термическое сопротивление  $R$  теплопередаче от газового потока к поверхности нагрева  $F$  можно представить как сумму сопротивлений пограничного слоя  $R_{пс}$  и слоя загрязнения  $R_3$ :

$$R = R_{пс} + R_3 = 1/F \cdot (1/\alpha + \epsilon).$$

Видно, что с увеличением  $\alpha$  сопротивление пограничного слоя уменьшается, а доля термического сопротивления слоя загрязнения возрастает.

Более сложной, но практически решаемой является задача учета и оценки влияния неравномерности отложений продуктов сгорания топлива на теплообменных поверхностях конструкции, однако необходимая для этого информация в известной литературе отсутствует.

## Выводы

Проведенные исследования показали, что:

- увеличение скорости потока продуктов сгорания до 10...15 м/с позволяет существенно повысить тепловую эффективность рассмотренной поверхности нагрева при приемлемом изменении гидравлического сопротивления тракта;
- загрязнение теплообменных поверхностей продуктами сгорания топлива приводит к снижению тепловой эффективности на 5...7%.

## Список литературы

1. *Оребренные поверхности паровых котлов / Г.И. Левченко, И.Д. Лисейкин и др. – М.: Энергоиздат, 1986. – 166 с.*
2. *Приходько І.М., Філіппов Е.Б., Черепенников Г.Б., Леценко Т.Г. Економічний метод теплового розрахунку трубчатой поверхні нагрівання з поперечно-пелюстковим оребренням // Ракетно-космічна техніка. – Х.: ХВУ. – 1999. – Вип. 1. – С. 39-42.*
3. *Філіппов Е.Б., Черепенников Г.Б., Леценко Т.Г. Метод исследования тепловой эффективности трубчатой поверхности нагрева с поперечно-лепестковым оребрением // Теплоэнергетика. – 2006. – № 6. – С. 36-40.*
4. *Тепловой расчет котельных агрегатов / Нормативный метод. – М.: Энергия, 1973. – 320 с.*

Поступила в редколлегию 11.10.2007

**Рецензент:** д-р техн. наук, ст. научн. сотр. В.И. Антюфеев, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.